

IV-2. サンゴ幼生着床・育成基盤の開発・実証

目 次

IV-2. サンゴ幼生着床・育成基盤の開発・実証	
1. 沖縄沿岸海域	IV-2-1-1
1.1 目的	IV-2-1-1
1.2 サンゴ着床・育成基盤の設置	IV-2-1-1
1.3 モニタリング調査	IV-2-1-5
1.4 考察	IV-2-1-15
2. 沖ノ鳥島海域	IV-2-2-1
2.1 目的	IV-2-2-1
2.2 実証試験用基盤の設計	IV-2-2-1
2.3 実証試験用基盤の製作	IV-2-2-18
2.4 沖ノ鳥島への設置	IV-2-2-18
2.5 実証試験用基盤設置等における課題他	IV-2-2-19

IV-2. サンゴ幼生着床・育成基盤の開発・実証

1. 沖縄沿岸海域

1.1 目的

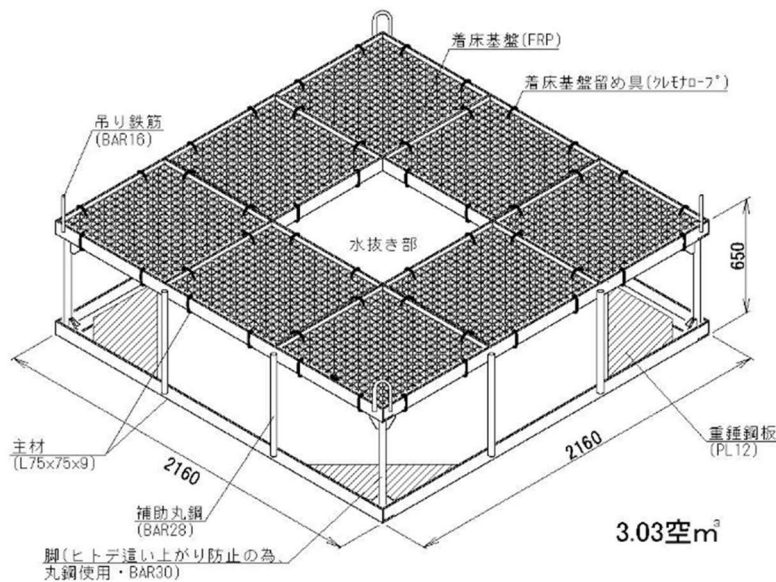
昨年度製作されたサンゴ幼生着床・育成基盤（以下「基盤」と言う。）2基を実証試験海域に設置し、既往の設置基盤と併せてモニタリング調査を行うとともに、モニタリング調査結果より、基盤の着床率、生残率等の比較から基盤の評価をとりまとめるものである。

1.2 サンゴ着床・育成基盤の設置

(1) 令和3年度製作基盤の状況

令和3年度に製作された基盤（平型1基、凸凹型1基）を図-IV.2.1.1に示す。

【平型基盤：1基製作】



【凸凹型基盤：1基製作】

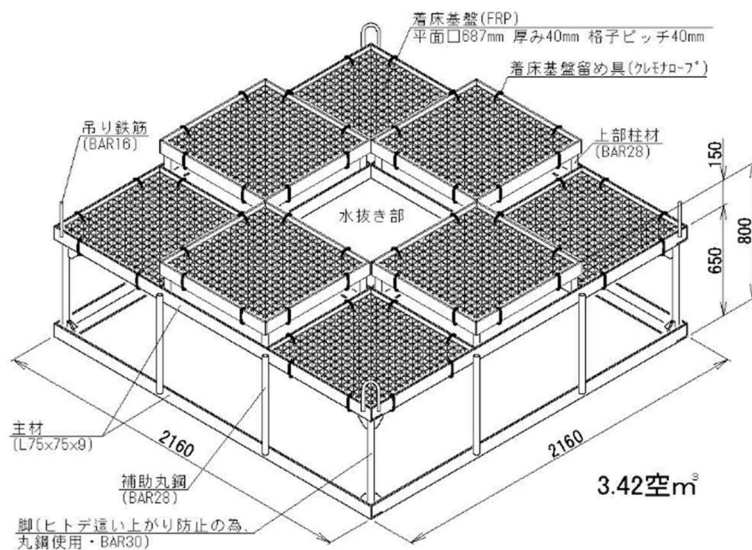


図-IV.2.1.1 令和3年度製作基盤(10年耐用)の形状・寸法図

(2) 放流試験海域への設置

1) 施工準備・手続き

設置工事に際し、必要となる申請書類等の確認及び手続きを行った（表-IV.2.1.1 参照）。また、工事完了後の届出についても併せて示す。

表-IV.2.1.1 設置工事の事前確認及び手続き

確認・手続き事項	確認・手続き先	許可申請書類等
漁業権区域への基盤の設置に係る漁業協同組合の同意	八重山漁業協同組合	同意書：令和3年度事業にて説明、水産庁より同意依頼、同意書(令和4年3月17日付)受領済みを確認。
岩礁破碎等に関する協議（許可を要しない協議）	沖縄県農林水産部水産課	回答書：令和3年度事業にて説明、水産庁より協議書提出、許可を要しない回答書(令和4年3月31日付)受領済みを確認。
工作物新築等及び公共用財産使用許可申請書・土地使用料等減免申請書	沖縄県八重山土木事務所	許可証：令和3年度事業にて説明、水産庁より許可申請書提出、許可書(令和4年4月5日付)受領済みを確認。
港湾施設ふ頭用地専用使用許可申請書（製作した基盤の港湾施設への仮置き許可申請）	石垣市港湾課	許可証：令和3年度事業にて説明、水産庁長官名で許可申請書提出・令和3年度受託業者が代理申請、許可書(令和4年1月20日付)受領済みを確認。令和4年4月分の用地使用料を受託者支払い。
工事届出書（施工業者申請）	石垣海上保安部	届出接受：令和4年4月1日付
関係機関へのお知らせ（施工業者）	海運会社、石垣港利用者、施工箇所の海域利用者（ダイビングショップ等）周知先3箇所	海上工事のお知らせリーフレット：令和4年4月1日周知
工事着手の届出	沖縄県知事あて（八重山土木事務所送付）	工事届：水産庁より令和4年4月7日付提出を確認
工事完了の届出、施工実施の報告	沖縄県知事あて（八重山土木事務所送付）	工事完了届及び施工実施状況報告：水産庁より令和4年5月26日付提出を確認

2) 架台運搬

令和3年度に石垣港ふ頭用地に仮置された基盤の架台について、トラッククレーンに積み込み、国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所の突堤へ運搬した。また、突堤からは、作業船に架台を積み込み、浦底湾の設置箇所まで運搬を行った。



石垣港ふ頭用地で仮置確認



トラッククレーンによる運搬



作業船への積み込み・運搬

3) 設標、架台設置

架台の設置は、4月11日～12日の2日間で実施した。

① 令和4年4月11日

作業船が、11:30頃浦底湾へ到着。実験海域の設置予定の2箇所(図-IV.2.1.2参照)に、設標(目印ブイ)を調査船により行い、岩礁帯ではないことを確認。その後、凸凹型鋼製架台1基を事前に陸上運搬していた水産技術研究所棧橋より作業船に積み込み、設置予定地点に運搬、吊り下げ設置した。

地盤と架台が不陸箇所となる部分は架台そのものが傾き、安定性を損なうため、不陸箇所へコンクリート入り土のう(耐候性のものを使用)を、架台内側へ挿入して水平設置した。コンクリート土のうと架台はアンカーボルトで固定して一体化させた。上記の作業を完了させて、1基目(凸凹型)の鋼製架台設置に係る施工を完了させた。

② 令和4年4月12日

前日に引き続き、平型の鋼製架台を水産技術研究所棧橋より作業船に積み込み、設置予定地点に運搬、吊り下げ設置。

不陸箇所へコンクリート入り土のうを、架台内側へ挿入して水平設置した。コンクリート土のうと鋼製架台はアンカーボルトで固定して一体化させた。上記の作業を完了させて、実験海域の2基目(平型)の鋼製架台設置に係る施工を完了させた。



作業船による架台の設置



サンゴ着生・育成基盤(凸凹型)
施工状況(4/11)



サンゴ着生・育成基盤(平型)
施工状況(4/12)

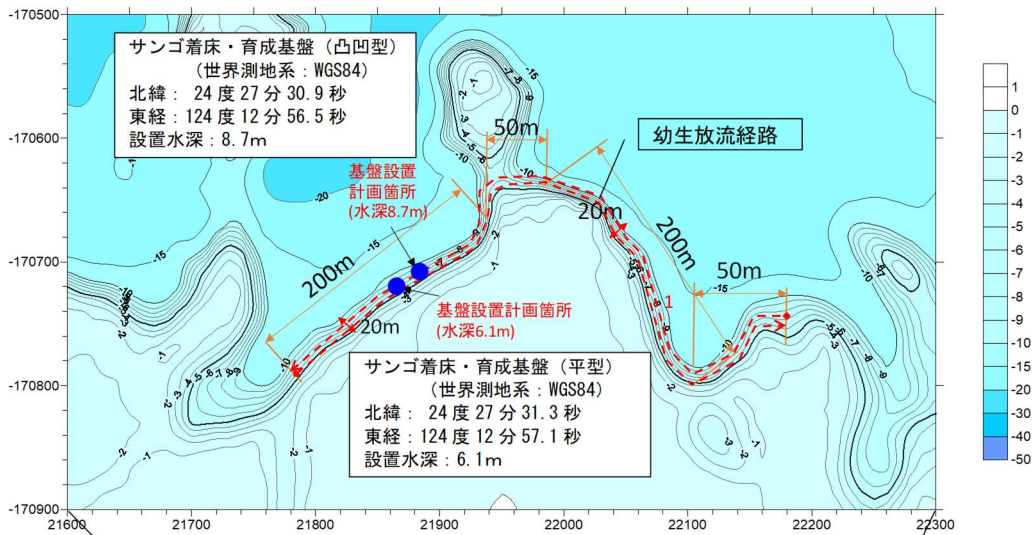
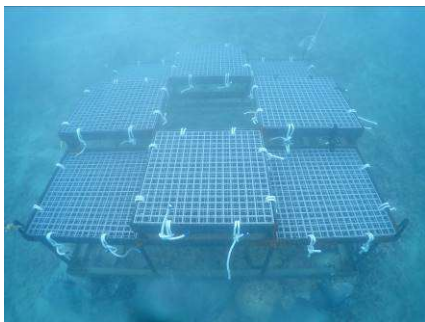


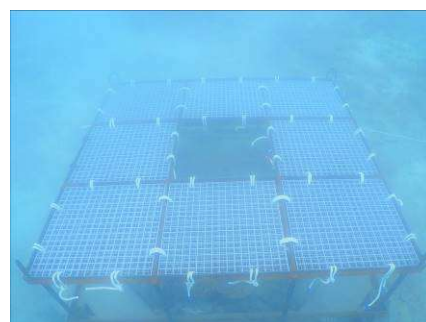
図-IV. 2. 1. 2 浦底湾設置箇所位置図及び放流試験箇所との位置関係図

4) 架台上部への着床具（グレーチング）の設置

4月17日に、2基の鋼製架台上部に着床具（687mm×687mm）をそれぞれ8枚ずつ、潜水土により設置し、クレモナロープで固定した。上記の作業を完了させて、全ての施工を完了した。



サンゴ着生・育成基盤(凸凹型)
施工状況 (4/17)



サンゴ着生・育成基盤(平型)
施工状況 (4/17)

1.3 モニタリング調査

設置後の基盤の安定性・機能性のモニタリングとして、「安定性」に関しては設置後の高波浪や経年劣化による基盤の移動、変形摩耗・損傷等について着目して調査を行い、結果に基づき設計手法、安定性照査の妥当性を評価した。なお、モニタリングは、今年度設置した基盤とともに、これまでに崎枝湾及び浦底湾に設置した基盤も併せて実施した。

また「機能性」に関しては、放流試験による幼生着底後の生残・成長状況の把握、成長阻害要因（浮泥の堆積、藻類付着、食害）の把握に着目して調査を行い、機能評価を行った。

(1) モニタリング項目

「安定性」に係るモニタリング項目と評価、改善事項

- ・ 設置後の高波浪、経年劣化による基盤の移動、変形摩耗・損傷
- ・ 海藻などの付着生物等による安定性への影響

⇒設計手法、安定性照査の妥当性評価

「機能性」に係るモニタリング項目と評価、改善事項

- ・ 放流等試験による幼生着底後の生残・成長状況の把握
- ・ 成長阻害要因（浮泥の堆積、藻類付着、食害）の把握

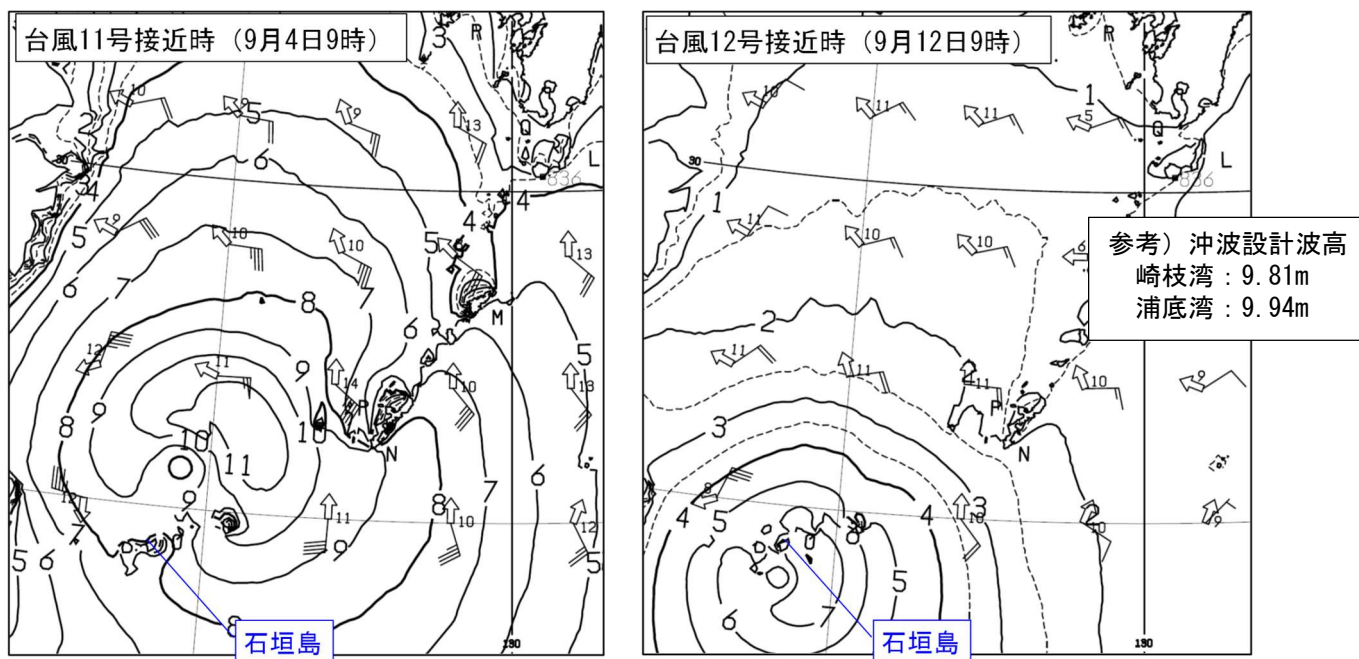
⇒着床部や架台構造等の評価

(2) モニタリング調査結果

1) 安定性に係るモニタリング調査結果

① 設置後の高波浪による外力

基盤の設置後の大きな波浪の発生は、台風11号(9月3～5日)及び台風12号(9月11日～13日)の接近時である。気象庁発表の沿岸波浪実況図によると、石垣島北側沿岸は台風11号接近時には波高8～9m程度、台風12号接近時には波高6～7m程度に達していたと考えられる(図-IV.2.1.3参照)。



出典: 気象庁ホームページ

(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/wave/chart/daily/coastwave.html?year=2023&month=2&day=26&hour=12>)

図-IV.2.1.3 気象庁沿岸波浪実況図

② 基盤の移動状況

基盤の移動状況の推移を図-IV.2.1.5に示す。以下に設置年度毎の基盤の移動状況の概要を示す。

【令和元年度設置(崎枝湾に設置した2基)】

基盤設置直後には多少移動が確認されたが、近年は大きな移動はなく、安定していることが伺える。

【令和2年度設置(浦底湾に設置した4基)】

基盤設置直後には多少移動が確認されたが、近年は大きな移動はなく、安定していることが伺える。

【令和3年度設置(浦底湾に設置した5基)】

基盤設置以降、大きな移動はなく安定していることが伺える。

【令和4年度設置(浦底湾に設置した2基)】

基盤設置以降、大きな移動はなく安定していることが伺える。

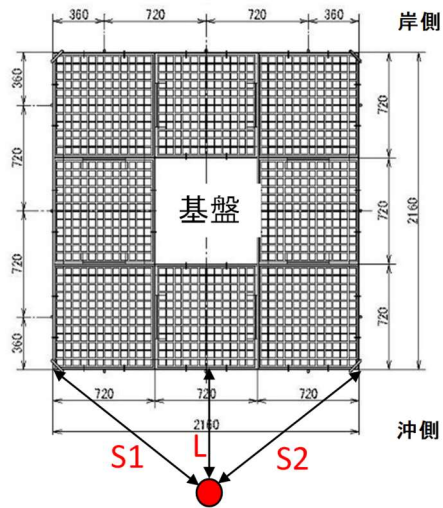
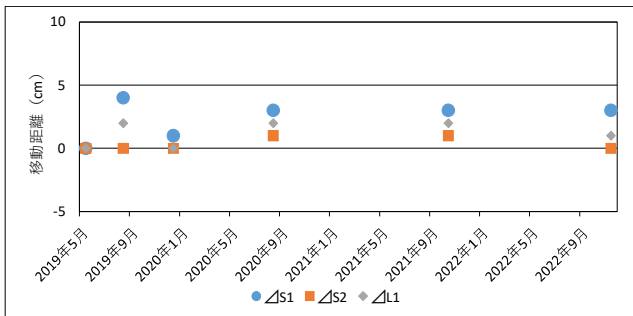


図-IV.2.1.4 モニタリング用に設置した目印杭と基盤との関係

【中央基盤】



【ESE20m 基盤】

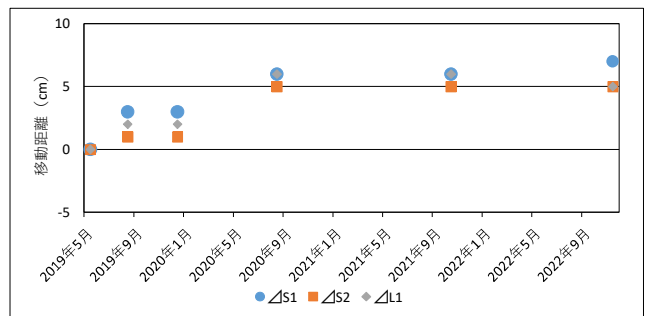
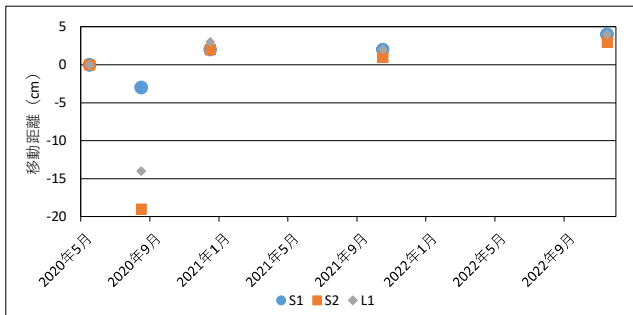
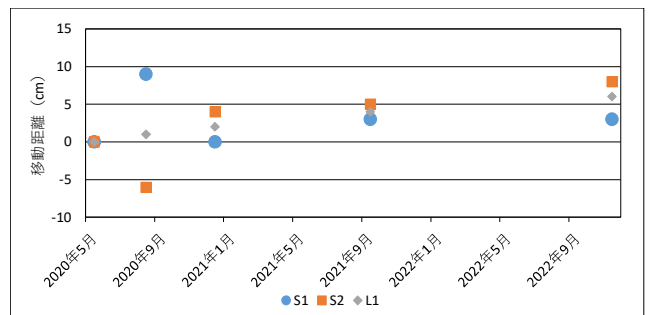


図-IV.2.1.5(1) 目印杭からの移動距離計測結果 (令和元年度設置：崎枝湾)

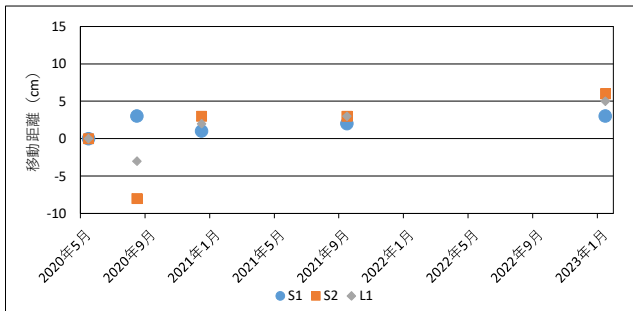
【F1 基盤】



【F2 基盤】



【M1 基盤】



【M2 基盤】

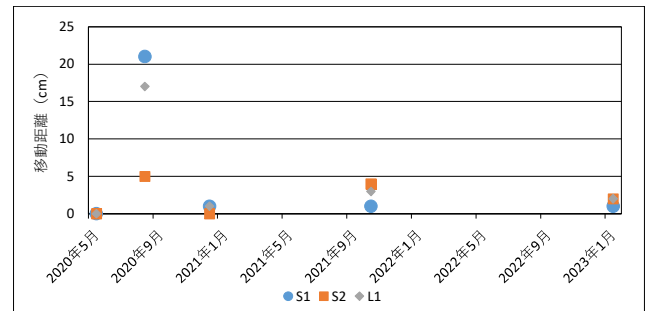
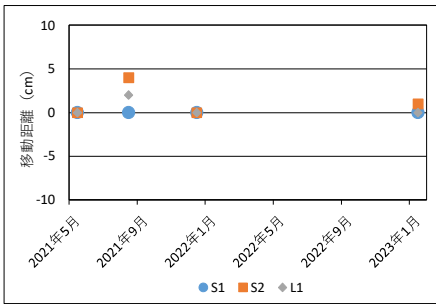
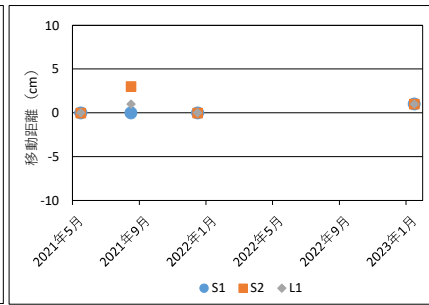


図-IV.2.1.5(2) 目印杭からの移動距離計測結果 (令和2年度設置：浦底湾)

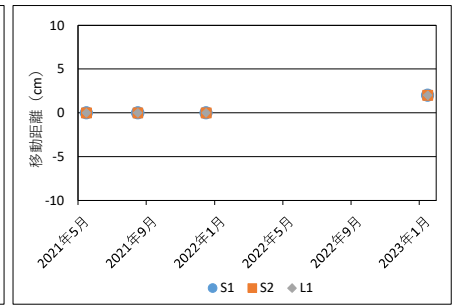
【D1 基盤】



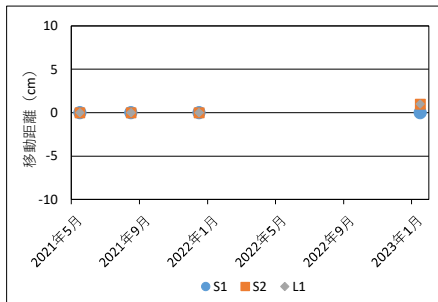
【D2 基盤】



【D3 基盤】



【D4 基盤】



【L1 基盤】

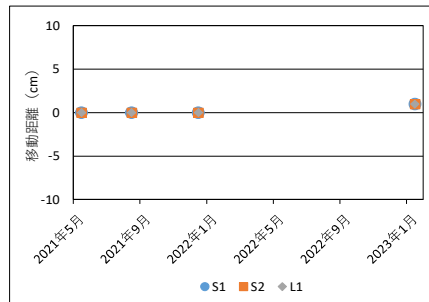
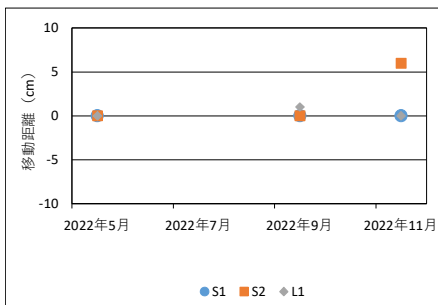


図-IV. 2. 1. 5 (3) 目印杭からの移動距離計測結果 (令和 3 年度設置 : 浦底湾)

【R1 基盤】



【R2 基盤】

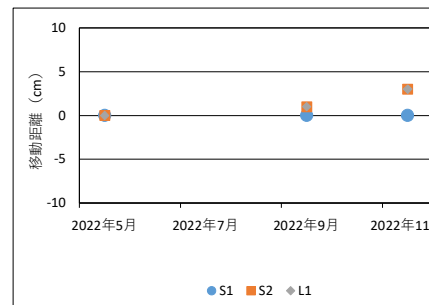


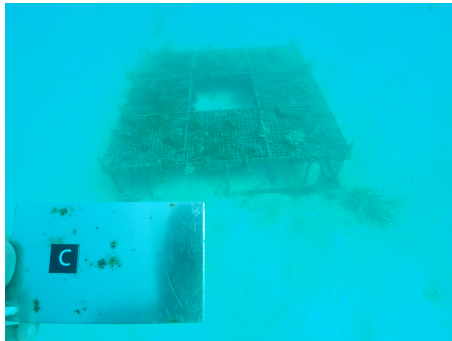
図-IV. 2. 1. 5 (4) 目印杭からの移動距離計測結果 (令和 4 年度設置 : 浦底湾)

③ 基盤の損傷、摩耗状況等のその他の状況

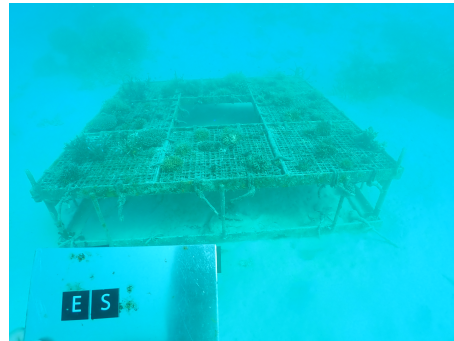
令和元年度～令和3年度に設置した基盤（令和元年度2基、令和2年度4基、令和3年度5基）には、基盤の損傷、摩耗等の劣化の状況は見られなかった。また、令和4年度に設置した2基についても、基盤の損傷、摩耗等の劣化の状況は見られなかった。

なお、いずれの基盤についても、微小な藻類やウミウチワが基盤全体に付着する程度で、安定性に影響する生物の付着等はみられなかった。

【令和元年度設置基盤】



基盤の状況 (中央基盤)



基盤の状況 (ESE20m 基盤)

【令和2年度設置基盤】



基盤の状況 (F1 基盤)



基盤の状況 (F2 基盤)



基盤の状況 (M1 基盤)



基盤の状況 (M2 基盤)

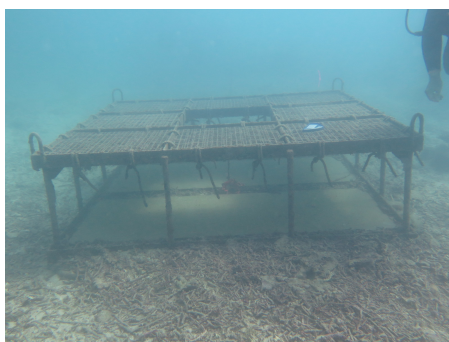
【令和3年度設置基盤】



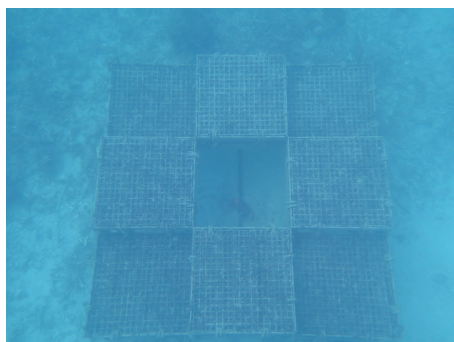
基盤の状況 (D1 基盤)



基盤の状況 (D2 基盤)



基盤の状況 (D3 基盤)



基盤の状況 (D4 基盤)



基盤の状況 (L1 基盤)

【令和4年度設置基盤】



基盤の状況 (R1 基盤)



基盤の状況 (R2 基盤)

2) 機能性に係るモニタリング調査結果

① 稚サンゴの生残状況

実証試験実施後の稚サンゴの生残状況の推移を図-IV.2.1.6及び表-IV.2.1.2に示す。以下に設置年度毎の生残状況の概要を示す。

【令和元年度設置（崎枝湾に設置した2基）】

中央基盤で35個体（9.3個体/m²）、ESE20m基盤で5個体（1.3個体/m²）の生残を確認した。T中央基盤では昨年度の50個体から35個体へと減少が見られたが、ESE20m基盤では昨年度から生残数に変化は見られなかった。中央基盤での生残数の減少については、比較的小型の個体が消失している状況が確認された。白化等で死滅した後の死サンゴも確認されないため、要因は現段階では判断できない。また、ESE20m基盤では生残数が変化していないため、大型魚等による捕食等の局所的な要因の可能性も考えられるが、継続してモニタリング結果に注視していく必要がある。

なお、昨年度から今年度にかけての中央基盤の生残率は70%であるが、計画段階での目標値である生残率（60%）については上回る値を示している。

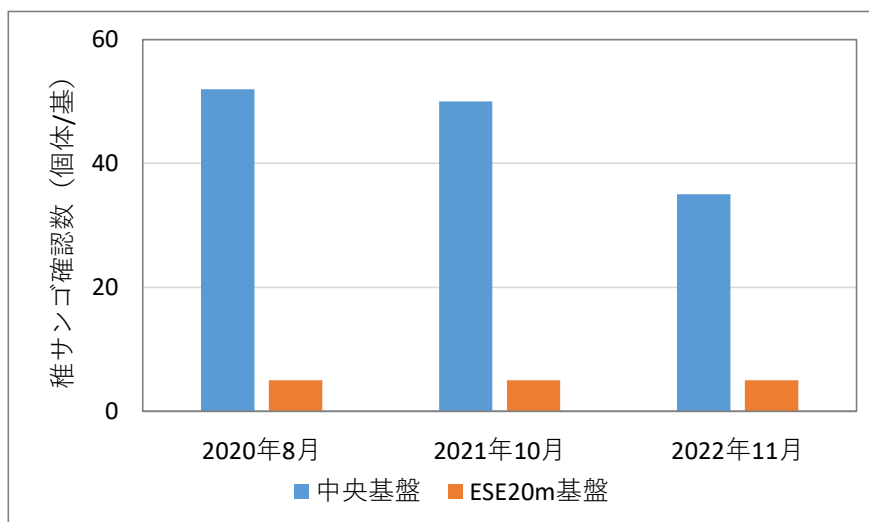


図-IV.2.1.6(1) 稚サンゴ生残状況（令和元年度設置：崎枝湾）

【令和2年度設置（浦底湾に設置した4基）】

稚サンゴは、1～25 個体（0.3～6.6 個体/m²）の生残を確認した。昨年度から生残数にほとんど変化は見られない。

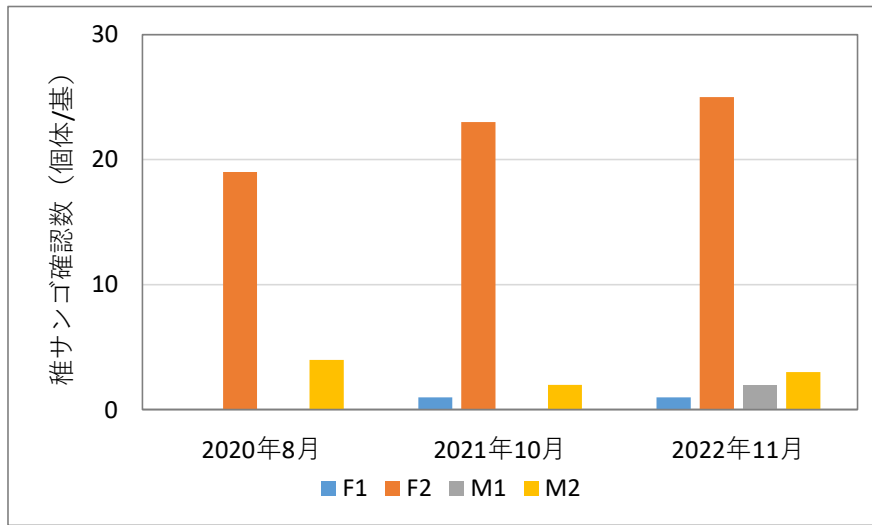


図-IV.2.1.6(2) 稚サンゴ生残状況（令和2年度設置：浦底湾）

【令和3年度設置（浦底湾に設置した5基）】

稚サンゴは、19～87 個体（5.0～23.0 個体/m²）の生残を確認した。昨年度から生残数は大きく増加しているが、昨年度調査時には1cmにみえない個体が多かったため、計数できなかつたものが追加され増加したものと推測される。

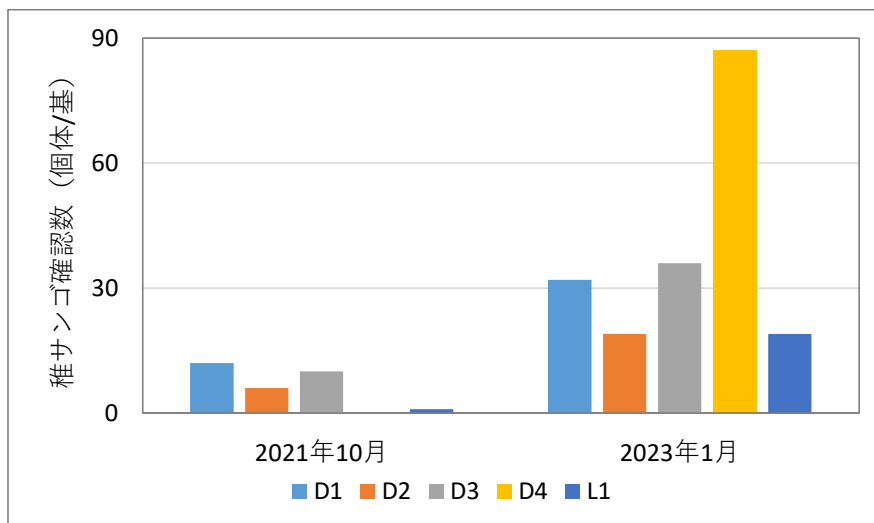


図-IV.2.1.6(3) 稚サンゴ生残状況（令和3年度設置：浦底湾）

【令和4年度設置（浦底湾に設置した2基）】

R1 基盤で2 個体（0.5 個体/m²）、R2 基盤で11 個体（2.9 個体/m²）の生残を確認した。稚サンゴのサイズが小さいため、計数可能な個体数は少なかったが、これまでの実績を踏まえると、次年度にはさらに多くの生残が確認されるものと推測される。

表-IV. 2. 1. 2 稚サンゴ生残状況（令和4年度設置：浦底湾）

基 盤	2022年11月
R1	2 個体 (0.5 個体/m ²)
R2	11 個体 (2.9 個体/m ²)

② 稚サンゴの成長状況

各年度の稚サンゴの成長状況についてみると、順調な成長が認められ、令和元年度設置基盤では、既に径20cm以上に成長した個体も認められた。

表-IV. 2. 1. 3 稚サンゴの成長状況

設置年度	稚サンゴ成長状況
令和元年度	径5～24cm、平均15cm程度まで成長
令和2年度	径2～13cm、平均8cm程度まで成長
令和3年度	径1～5cm、平均3cm程度まで成長
令和4年度	径1cm以下

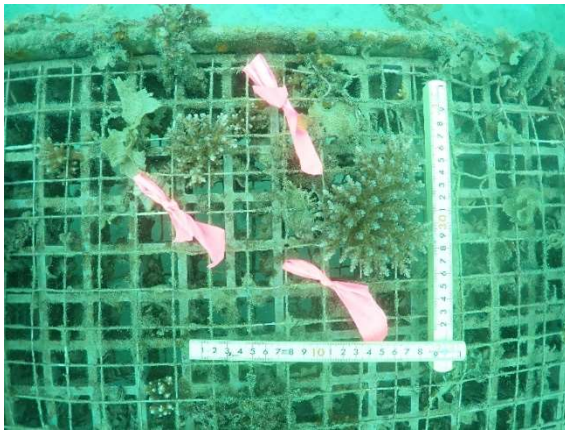
【令和元年度設置_中央基盤】



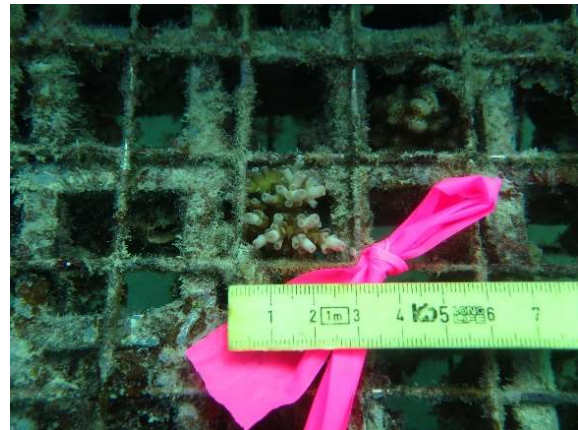
【令和元年度設置_ESE20m 基盤】



【令和2年度設置_F1 基盤】



【令和3年度設置_D4 基盤】



③ 浮泥の堆積、付着藻類の状況

浮泥の堆積は、いずれの基盤においても確認されなかった。なお、付着藻類については、前述にも示すとおり、いずれの基盤でも確認されたが、付着藻類の繁茂によって目詰まり等が発生するような異常繁茂は確認されなかった。なお、昨年度調査時には、付着藻類が基盤上部をマット状に覆うように分布（特に令和3年度設置基盤）していたが、今年度は極端な繁茂は認められない。

1.4 考 察

(1) 基盤の安定性に関する考察

令和元年度に崎枝湾に設置した基盤、令和2年度～令和4年度に浦底湾に設置した基盤、併せて13基盤ともに、基盤の顕著な移動、変形及び損傷は認められず、安定した状況を示しており、現在の設計方針に問題点等は見られない。

一方で、サンゴの生残個体は最大でも直径20cm程度、その他大型生物の付着もみられない。今後、サンゴがさらに成長し、その他の大型生物が付着した際にも基盤が安定性を保つことが出来るかを確認することが重要となる。また、付着藻類の異常繁茂が発生した際、これらによる目詰まりの可能性もある。以上に着目して、今後もモニタリングにより監視していく必要がある。

また、リーフ内の海底は起伏があるため、「コンクリート土のう」により、現地状況に応じて、中詰めコンクリート量を調整して水平を保ち、鋼製金具で基盤と結合させる手法を採用しているが、安定性に影響がないことより、本手法についても有効であると判断される。

(2) 基盤の機能性に関する考察

令和2年度～令和3年度に浦底湾に設置した基盤では、稚サンゴの生残数に減少傾向は認められず、稚サンゴの生残機能が十分に確保されていることが確認された。また令和元年度に崎枝湾に設置した基盤では、中央基盤において稚サンゴの生残数に減少傾向（生残率70%）が認められたが、依然として目標値（生残率60%）を上回っていること。もう1基の基盤（ESE20m基盤）では生残数に減少傾向が全く認められないことより、稚サンゴの生残に対して、一定の機能を維持していると判断される。

なお、中央基盤での生残率の低下要因については不明のため、今後も継続してモニタリングにより監視していく必要がある。

(3) 今後の考え方

今年度試験において、安全性、機能性、いずれにおいても大きな問題等は確認されなかった。今年度で実証試験に伴う基盤の設置は終了となるが、設置済基盤は令和7年度までは継続してモニタリングにより監視を行うことを予定している。

これにより安定性、機能性のさらなる確認を行うものとする。また、令和2年度より設置した基盤については、平型と凸凹型を作成し、形状変化による効果の程度を比較することとしているが、現段階では、両者に顕著な差異は認められない。次年度以降も継続して監視を行い、両者の効果の程度について検証を行っていく。

2. 沖ノ鳥島海域

2.1 目的

令和5年度以降に沖ノ鳥島で計画している幼生放流実証試験に向けて、沖ノ鳥島礁内への輸送に適した実証試験用の基盤を製作し、沖ノ鳥島海域に設置する。また、運搬性、施工性の観点から評価を行い、必要に応じて改良案を提案する。

2.2 実証試験用基盤の設計

(1) 基盤設置箇所

サンゴ幼生の育成が期待できる箇所として、サンゴ被度が比較的高い、前フェーズで再移植ノルの調査箇所である A10 周辺を候補とした。

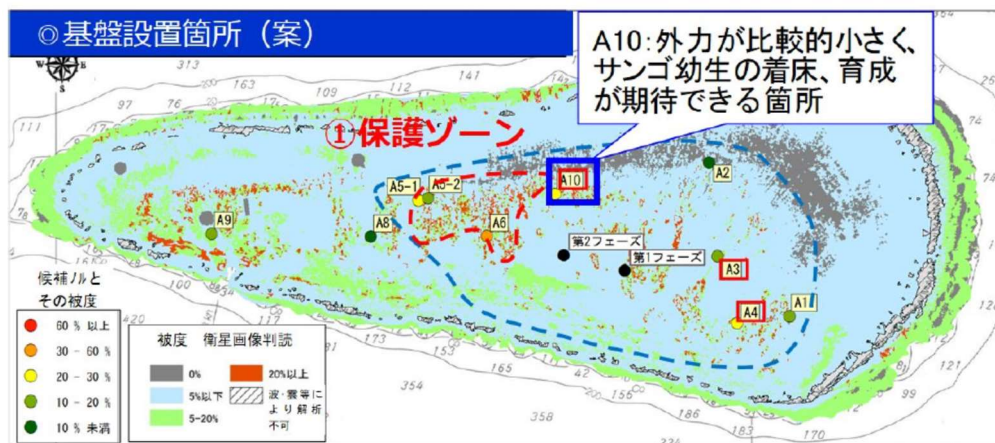


図-IV. 2. 2. 1 実証試験用基盤の設置箇所

(2) 設計外力

1) 潮位条件 (リーフ内)

「平成27年度東京南部海岸のサンゴ等調査業務報告書」(以下「H27 サンゴ等調査報告書」)に示されている以下の値を用いるものとする。

H. W. L : D. L. +1.54m
M. W. L : D. L. +0.91m
L. W. L : D. L. +0.11m
(1995年1月～2012年12月の実測潮位の平均値)

2) 潮位偏差 (リーフ内)

「H27 サンゴ等調査報告書」で設定された以下の値のうち、最も大きい「 $\eta_1=2.79\text{m}$ 」を用いるものとする。

$\eta_1=2.79\text{m}$: 実測値の100年確率潮位偏差 (解析期間: 1990～2012年)
 $\eta_2=2.43\text{m}$: 実測値の既往最大潮位偏差
 $\eta_3=1.06\text{m}$: 実測値の100年確率気圧偏差(918hPa) (解析期間: 1988～2012年)

3) 設計高潮位（リーフ内）

「H27 サンゴ等調査報告書」で設定された以下の値のうち、最も大きい「①D. L. +4. 33m (H. W. L.+ η 1)」を用いるものとする。

- ①D. L. +4. 33m (H. W. L. + η 1)
- ②D. L. +3. 97m (H. W. L. + η 2)
- ③D. L. +2. 60m (H. W. L. + η 3)
- ④D. L. +3. 08m (実測最高潮位(2007. 05. 20 24:00))

4) リーフ内の水位上昇

「H27 サンゴ等調査報告書」で設定された以下の値のうち、最も大きい $\xi = 2. 29$ (W系) を用いるものとする。

2. 22m (S系) 、 2. 14m (N系) 、 2. 29m (W系) 【高山式における算定値】

5) 設計沖波波高（暴風時：100年確率）

「H27 サンゴ等調査報告書」で設定された、 $H_o = 18. 02\text{m}$ 、 $T_o = 14. 4\text{s}$ 、を用いるものとする。

(3) 既往資料による計算結果

「沖ノ鳥島観測施設架台の設計資料」に示されている波浪変形モデル（ブシネスクモデル）を用いた流況の算定結果を次頁に示す。計算条件は、先の設計外力に基づき、以下のように設定されている。

1) 波浪

- ・ 波浪条件は、年最大値を用いて求めた 100 年確率の有義波高とそれに対応する有義波周期を設計波として採用することとした。
- ・ 波向き条件は、台風時に頻度が高い S 方向と、北小島および東小島に対して S 方向よりも波高が大きくなる可能性がある N 方向の 2 方向に、W 方向を追加した計 3 方向について検討した。

2) 潮位

- ・ 朔望平均満潮位に 100 年確率潮位偏差を加えた潮位を計算条件とした。

設計高潮位 : H. W. L. (D. L. +1.54m) +2.79=D. L. +4.33m

3) 計算条件

計算条件は以下に示すとおりである。

表-IV.2.2.1 計算条件

項目		条件		
対象領域	【S,N系波浪】	沿岸方向 9.0km 岸沖方向 4.6km		
	【W系波浪】	沿岸方向 7.5km 岸沖方向 9.0km		
メッシュサイズ	$\Delta x = \Delta y = 10\text{m}$			
時間刻み	$\Delta t = 0.01\text{s}$			
波浪		【S系波浪】	【N系波浪】	【W系波浪】
	有義波高	18.0m	18.0m	18.0m
	有義波周期	14.6	14.6s	14.6s
	主波向	S方向	N方向	W方向
	S_{\max}	75	75	75
潮位	D.L.+4.33m			
地形	D.L.-5.0m~D.L.-50.0m の海底勾配を 1/5 とし、それより沖側は D.L.-50.0m 一定			
碎波パラメータ	$\gamma_b = 0.9$			
海底摩擦係数	$f = 0.02$			

4) 既往資料の平均流速計算結果

【波向：N】

「沖ノ鳥島観測施設架台の設計資料」より波浪変形モデル（ブシネスクモデル）を用いた流況の算定結果を以下に示す。（今回の基盤設置箇所の平均流速を図に加筆した。）

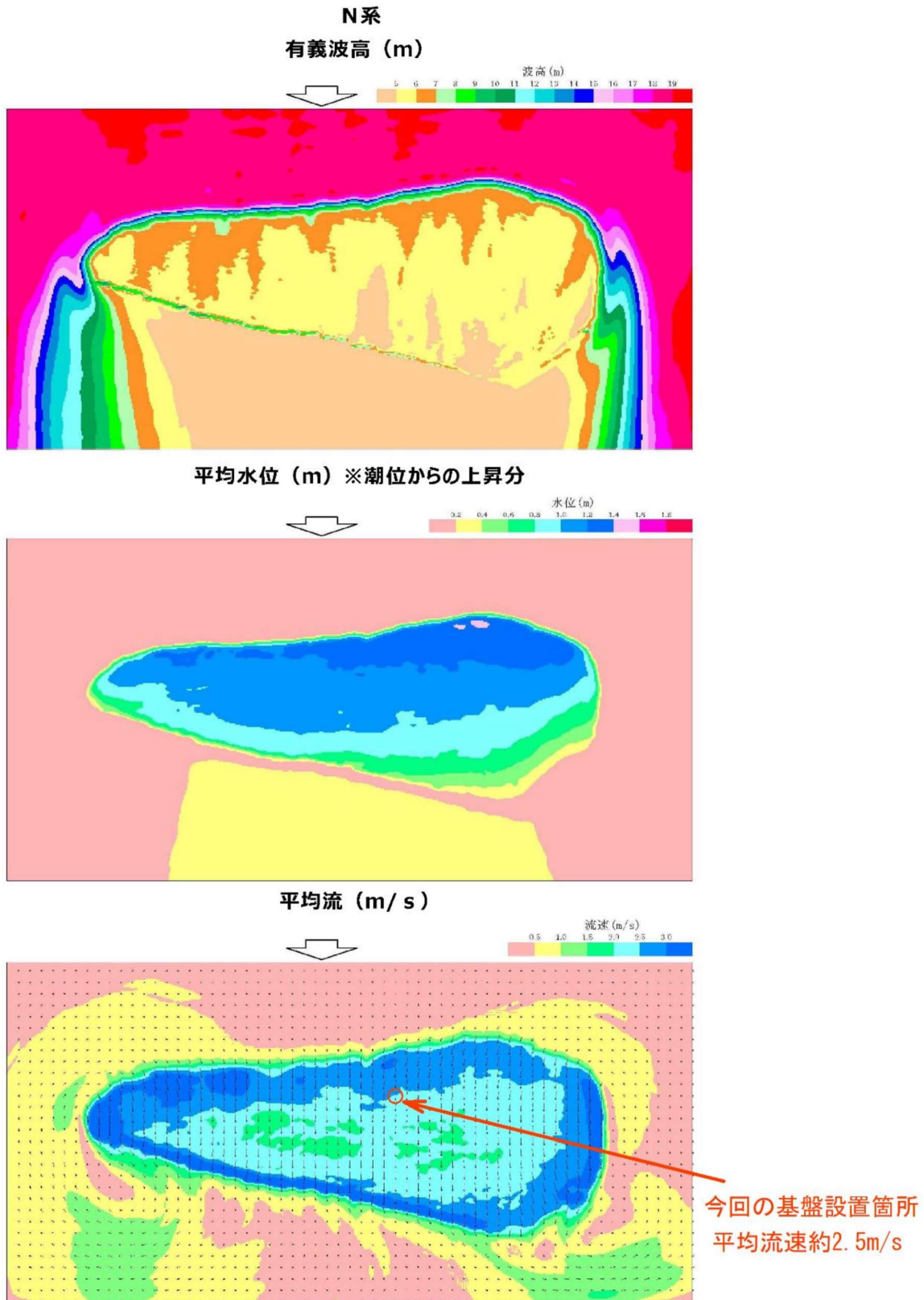


図-IV. 2. 2. 2(1) ブシネスク計算結果 (N系)

【波向：S】

「沖ノ鳥島観測施設架台の設計資料」より波浪変形モデル（ブシネスクモデル）を用いた流況の算定結果を以下に示す。（今回の基盤設置箇所の平均流速を図に加筆した。）

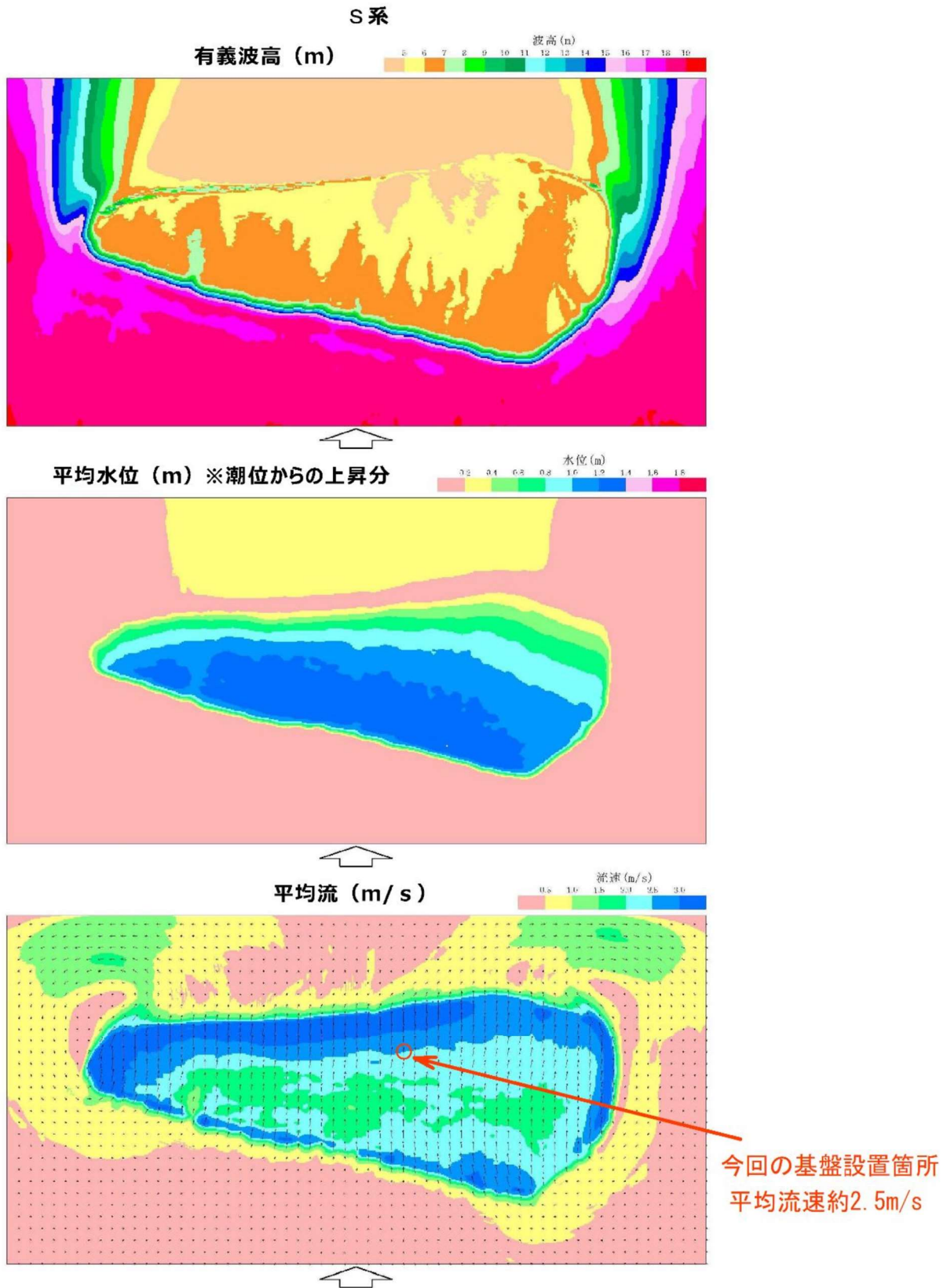


図-IV. 2. 2. 2(2) ブシネスク計算結果 (S系)

【波向：W】

「沖ノ鳥島観測施設架台の設計資料」より波浪変形モデル（ブシネスクモデル）を用いた流況の算定結果を以下に示す。（今回の基盤設置箇所の平均流速を図に加筆した。）

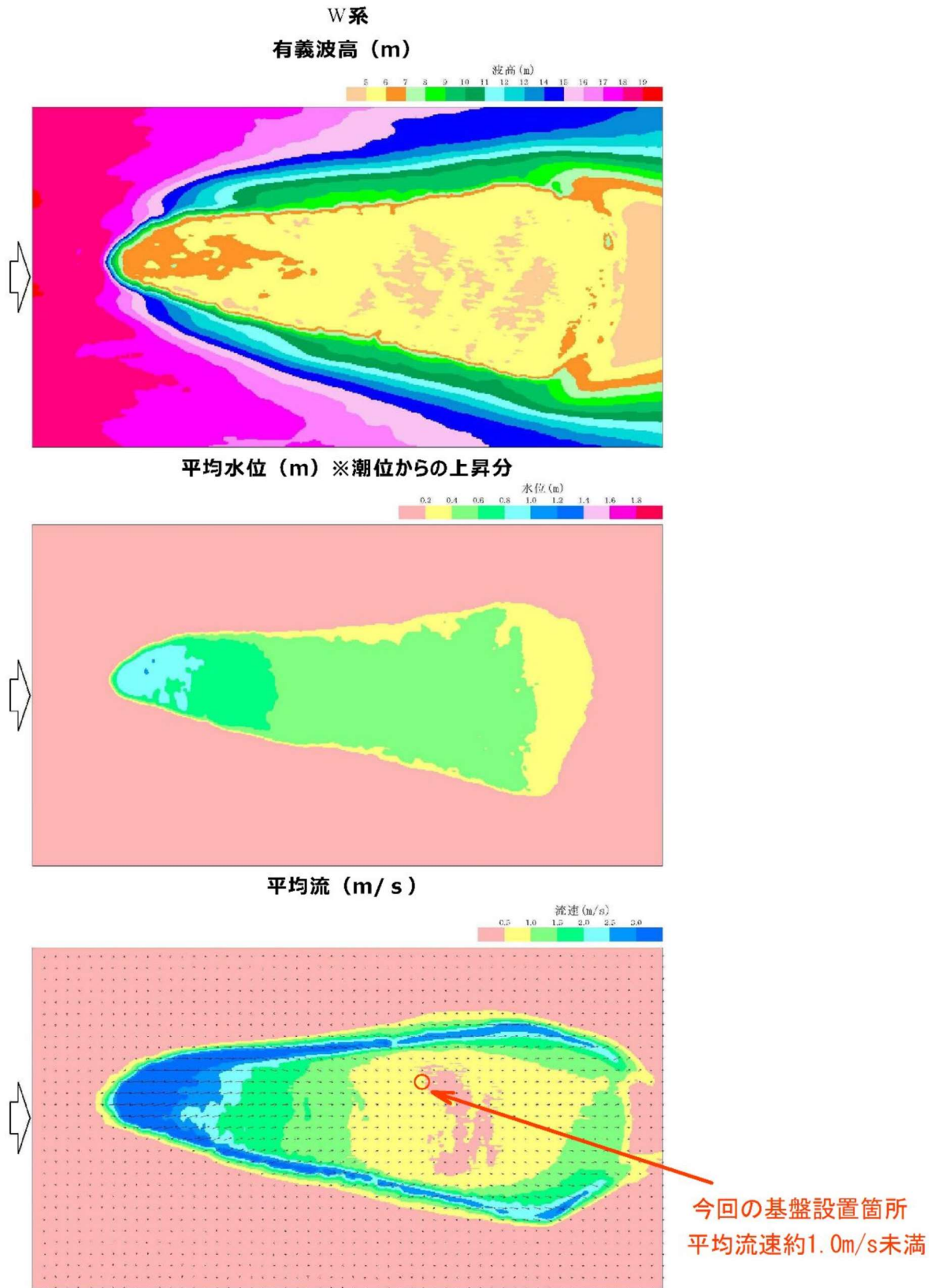


図-IV. 2. 2. 2(3) ブシネスク計算結果 (W系)

5) 既往資料の検討結果における基盤設置箇所の平均流速（まとめ）

「沖ノ鳥島観測施設架台の設計資料」より波浪変形モデル（ブシネスクモデル）を用いた流況の算定結果を用いて、実証試験用基盤設置箇所の平均流速を読み取った。ブシネスク計算結果の図より、最大でも約 2.5m/s の流速であることが確認できた。

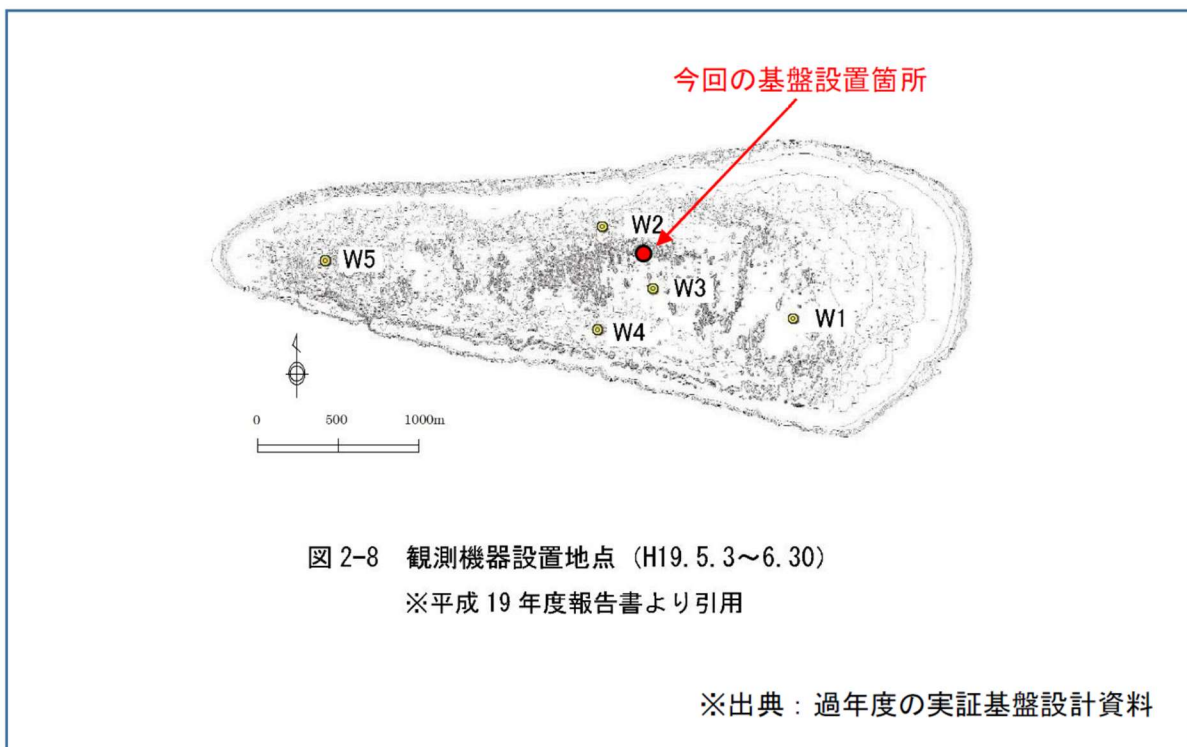
表-IV.2.2.2 既往検討を用いた実証試験用基盤設置箇所の平均流速

検討波向	基盤設置箇所の平均流速
N系	約 2.5m/s
S系	約 2.5m/s
W系	約 1.0m/s

(4) 流速の現地観測結果

水産庁事業において、サンゴ幼生の移植のための中間育成施設を設置するに際し、実際に計測した流速データを参考に設計を行っている。資料では、2007年の台風2号の通過により計測された流速を根拠としている。台風2号の通過の際に計測された最大瞬間流速（W3地点）は、237.5cm/secとされている。また、W3地点は、今回の実証試験用基盤設置箇所の近隣である。

また、過年度の検討では、最大瞬間流速の計測値を踏まえ、安全側をみて設計流速を300cm/secとしている。以下に過年度の計測データ等の資料を示す。



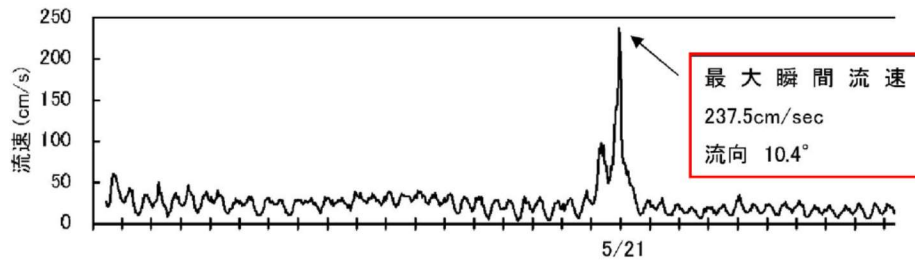


図2-10 W3における瞬間最大流速

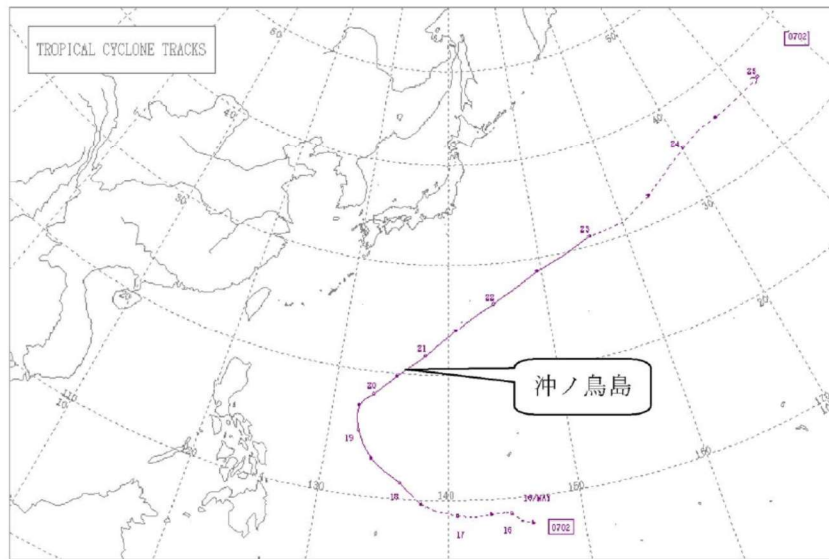


図 2-9 0702 号台風の経路図 (2007 年台風 2 号)

※気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) より引用

2) 設計条件

設置水深は、図2-7より基盤がなく、種苗の供給が少ないエリア (③エリア) とし、作業性を考慮して、水深4~5mの場所に設置する。

波浪条件は、平成19年度の波浪調査 (図2-8) より、設置予定エリア内に該当するW3の観測データで、沖ノ鳥島直近を通過した台風時の波浪条件を採用する (図2-9)。図2-8よりW3のエリアで最大瞬間流速が237.5cm/secであったので、今回は、安全側を見て300.0 cm/secとして設計を行った。

※出典：過年度の実証基盤設計資料

(5) 実証試験用基盤設計に用いる設計流速の設定

観測施設架台の設計資料より読み取った実証試験用基盤設置箇所の平均流速は、最大で約 2.5m/s であった。この流速は、100 年確率波及び潮位を用いて、詳細な計算モデルより算定された値である。また、2007 年の台風 2 号通過時に計測された実証試験用基盤設置箇所近傍の最大瞬間流速は、 2.375m/s (観測値) であり、最大瞬間値とはいえ、100 年確率に近い流速が、実際に生じていることが確認されている。

以上より、実証試験用基盤の設計に用いる流速は、既存実績も踏まえ、 3m/s を用いるものとする。沖ノ鳥島が、その立地上、頻繁に実証実験ができる場所ではないことを踏まえ、安全側の値を用いることとした。

(6) 実証試験用基盤の設計

1) 設計方針

沖ノ鳥島に設置する実証試験用基盤は、以下の条件を踏まえて設計を行う。

- ・ 施設の重量により安定性を確保できるほどの大規模な施設を配置することは困難なため、実証試験であることを踏まえて簡易な構造物とし、基盤 1 基当り 50kg 程度とする。
- ・ オニヒトデ等による這い上がりによる食害の影響を極力抑え、サンゴ砂礫によるフラッシュによる影響を抑える構造とする (図-IV. 2. 2. 3 参照)。

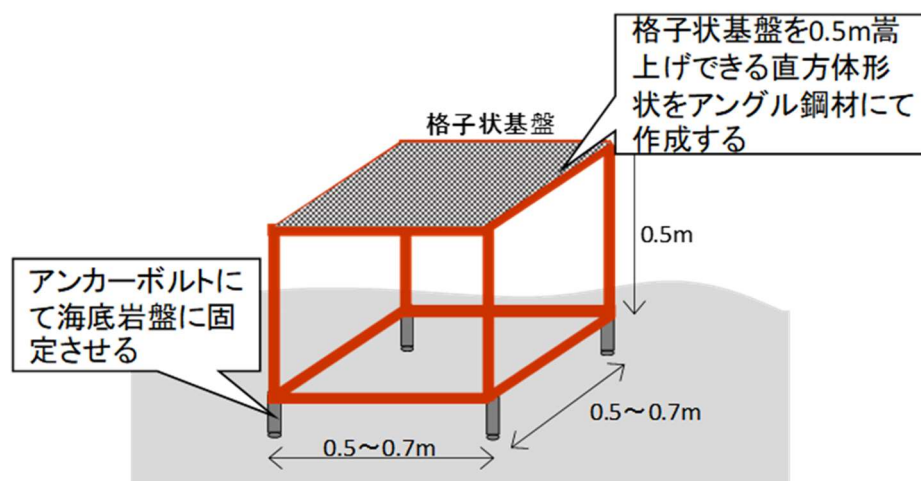


図-IV. 2. 2. 3 実証試験用基盤イメージ

2) 安定計算結果

実証試験用基盤は、L型鋼による50cm×50cm×60cmの直方体構造とし、上面にグレーチング基盤（FRP製）を設置するものとする。基盤1基による安定計算結果を表-IV.2.2.4に、基盤を4基連結させた際の安定計算結果を表-IV.2.2.5に示す。

基盤が1基の際の安定計算によると、安全率（滑動・転倒）はいずれも低くなっており、自重のみでは十分な安全率を確保できない。また、基盤を4基連結させた際の安定計算についても、安全率（滑動・転倒）は低くなっており、自重のみでは十分な安全率を確保できない。

沖ノ鳥島の底質は岩盤の上にサンゴ砂礫が薄く覆っている箇所が主体のため、基盤を4基連結させた上で、アンカーボルトにより岩盤に固定する工法を採用するものとする。

アンカーボルトの検討結果は以下に示すとおりである。

①架台の諸元（4基連結）

- ・ 架台寸法 $W1000\text{mm} \times D1000\text{mm} \times H600\text{mm}$
- ・ 流体力 (P) 2.875KN JIS0.293t

②後施工アンカーボルトの検討

【アンカーボルトに掛かるせん断力】

全流体力が脚部4ヶ所のアンカーボルトに均等に作用すると考えられるが、安全側を見て、1箇所のみ作用すると想定して算出する。

■ せん断力

$$N = 2.875\text{KN}$$

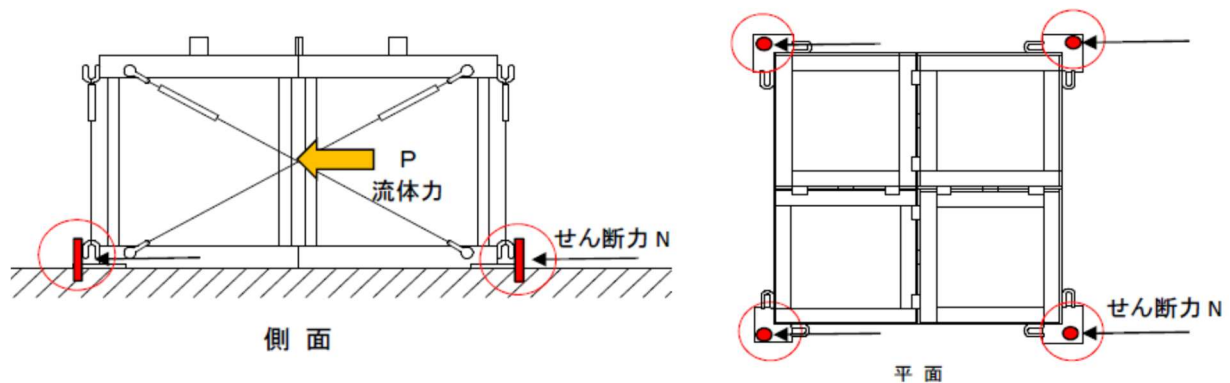


図-IV.2.2.4 アンカーボルト設置模式図

【アンカーボルトの選定】 ※アンカーボルトをM16と仮定する。

■せん断応力度の算出

$$\sigma_b = \frac{N}{A} = \frac{2.875}{1.67} = 1.722 \text{ KN/cm}^2$$

ここに

σ_b : せん断応力度 N : せん断力 A : アンカー断面積

■判定

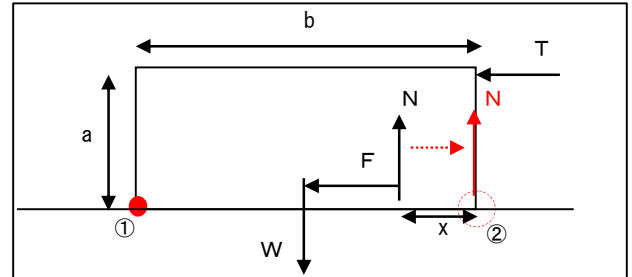
$$\frac{\sigma b}{f_b} = \frac{\text{せん断応力度 (KN/cm}^2\text{)}}{\text{長期せん断応力度 (KN/cm}^2\text{)}} = \frac{1.722}{8} = 0.215 < 1 \quad \text{OK}$$

ここに f_b : 長期せん断応力度 8KN/cm^2 (「漁港・漁場の施設の設計参考図書」2015年版)

【アンカーボルトに掛かる引抜き力】

基盤上部にのみ流体力 (2.875KN) が作用し、モーメントにより施設が転倒 (アンカーを引き抜く) する力を以下の通り算出する。

ここで、重さ W 、高さ a 、幅 b の直方体の上面に T の力 (流体力) が加わった場合、安定状態の際に①を支点として以下の関係式が成立する。



$$W \times b/2 - T a - N x = 0 \quad \text{安定状態のため、} W = N, F = T \quad \text{以上より、}$$

$$x = b/2 - T/W \times a \quad \text{①式}$$

転倒する直前は、 $x = 0$ となり、 N の力がかかる位置が②となり、転倒する力となる。①式に $x = 0$ を代入すると、

$$T = b/2a \times N \quad \text{②式}$$

以上の②式を踏まえ、流体力が基盤上部のみに加わった際の引張力 N を算出する。

■軸方向引張力

$$2.875\text{KN} = 100\text{cm}/120\text{cm} \times N \quad N = 3.45\text{KN}$$

■判定

$$N/\text{アンカー許容引張力 (メーカー値)} = 3.45/5.08 = 0.679 < 1 \quad \text{OK}$$

【アンカーボルトの埋込長さ】

金属拡張アンカー (後施工) で M16 の埋込長さは 60mm である。但し、打ち込む側はコンクリートの場合となっている (表-IV.2.2.3 参照)。基盤は岩盤に固定するため、アンカー埋込長さは安全を考慮して倍の 120mm 以上とする。

表-IV.2.2.3 金属拡張アンカーの許容荷重

掲載ページ	品名/タイプ	材質	ねじの呼び	アンカー外径	アンカー埋込み長さ	穿孔径	最大荷重		許容荷重 [各種合成構造設計指針同解説 (2010年度版)より算出]			
							単位: kN		単位: kN			
							引張	せん断	引張 (長期)	引張 (短期)	せん断 (長期)	せん断 (短期)
	オールアンカー Cタイプ	スチール製	M 6	6.0	30	6.4	3.9	6.3	0.80 ※	1.60 ※	1.24 ※	2.48 ※
M 8			8.0	35	8.5	6.5	10.1	1.42 ※	2.85 ※	2.26 ※	4.53 ※	
M10			10.0	40	10.5	10.2	16.0	2.23	4.46	3.76	7.52	
M12			12.0	50	12.7	17.1	23.3	3.21	6.42	5.36	10.73	
M16			16.0	60	17.0	29.9	47.9	5.08	10.17	9.95	19.90	
M20			20.0	80	21.5	41.4	73.6	8.92	17.84	16.25	32.50	
W1/4			6.3	30	6.6	4.6	6.3	0.89 ※	1.79 ※	1.23 ※	2.46 ※	
W5/16			8.0	35	8.5	6.9	10.1	1.42 ※	2.85 ※	1.98 ※	3.96 ※	
W3/8			9.5	40	10.0	9.8	15.3	2.03	4.06	3.01	6.03	
W1/2			12.7	50	13.5	18.0	24.7	3.49	6.99	5.62	11.25	
W5/8			15.8	60	17.0	31.5	47.5	5.07	10.15	8.85	17.70	
W3/4			19.0	80	20.5	43.6	69.9	8.09	16.18	13.58	27.17	

出典: 「メーカーカタログ」

表-IV.2.2.4 安定計算結果 (基盤単独)

安定計算表

都道府県名	事業名	地区名	工種名	工区名	着工年度			
沖縄県	-----	沖ノ鳥島	増殖礁		令和元年			
設計条件								
潮位	H.H.W.L	0.00 m	沖波	波高 (Ho)	m	設計波	波高 (H)	m
	H.W.L	0.00 m		波長 (Lo)	m	潮流速	周期 (T)	s
	L.W.L	0.00 m		主方向		海面流速 (U _H)	----- m/s	
海底勾配	1/100		推算法		海面設計流速 (U ₀)	----- m/s		
基準設置水深 (h ₀)	7.00 m	基礎地盤の地質		サンゴ砂				
備考	10年対応型の安定計算							
	設計流速 ----- U = 3.000m/s ※指定値							

分割数	方向	D	屈折係数 (Kr)	回折係数 (Kd)	D · (Kr Kd) ²
	-67.5				
Ho/Lo	-45.0				
0.043	-22.5				
Ho'/Ho	0.0				
1.000	22.5				
Ho'	45.0				
2.70	67.5				
				Σ D · (Kr Kd) ²	1.000

$$h/Lo = 7.00 / 228.40 = 0.031$$

$$Ho'/Lo = 2.70 / 228.40 = 0.012$$

	設置点
h ₀ /Ho'	---
H/Ho' (Ks)	---

設計計算						
使用する機種名および型式			サンゴ増殖用架台 単体型			
諸元	高さ (D)	0.60 m	計算条件	波と流れの条件	波動流速	
	積み重ね高さ (nD)	1段 0.60 m		摩擦係数 (μ)	0.60	
	10年後の重量 (W)	0.304 kN		水粒子速度 (u _m)	m/s	
	10年後の実容積 (V)	0.004 m ³		砕波波動流速 (U _m)	3.000 m/s	
	全遮影面積 (A)	0.24 m ²		流体力	抗力によるもの (P _D)	kN
	抗力係数 (C _D)	1.00			質量力によるもの (P _M)	kN
	質量力係数 (C _M)	2.00			流体力 (P)	1.113 kN
	図心高さ (L _A)	0.38 m		安全率	滑動 (SF1)	0.136 NG
	転倒中心距離 (L _V)	0.25 m			転倒 (SF2)	0.149 NG
	単位体積重量 (σ _G)	77.000 kN/m ³				
備考	1. 流体力 $P = C_D \times A \times \omega_0 \times (u_m^2 / (2 \times g))$ $= 1 \times 0.24 \times 10.1 \times (3 \times 3 / (2 \times 9.8)) = 1.113 \text{ kN}$					
	2. 滑動安全率 $SF1 = (W \times \mu \times (1 - \omega_0 / \sigma_G) \times \cos \theta - F \times \mu \times \sin \theta) / (W \times (1 - \omega_0 / \sigma_G) \times \sin \theta + F \times \cos \theta)$ $= (0.304 \times 0.6 \times (1 - 10.1 / 77) \times 1 - 1.113 \times 0.6 \times 0.01) / (0.304 \times (1 - 10.1 / 77) \times 0.01 + 1.113 \times 1) = 0.136$					
	3. 転倒安全率 $SF2 = (W \times (1 - \omega_0 / \sigma_G) \times \cos \theta - F \times \sin \theta) / (W \times (1 - \omega_0 / \sigma_G) \times \sin \theta + F \times \cos \theta) \times (L_V / L_A)$ $= (0.304 \times (1 - 10.1 / 77) \times 1 - 1.113 \times 0.01) / (0.304 \times (1 - 10.1 / 77) \times 0.01 + 1.113 \times 1) \times (0.25 / 0.38) = 0.149$					

注) 計算は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」2015年版による。

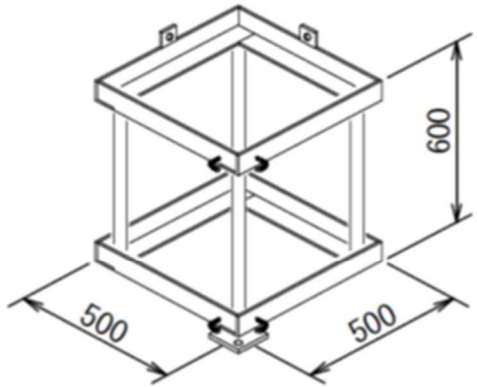
姿図			
サンゴ増殖用架台 単体型	種類	当初重量	10年後重量
	本体鋼材	0.431 kN	0.304 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
	合計 (SI単位)	0.431 kN	0.304 kN
	合計 (JIS単位)	0.044 t	0.031 t

表-IV.2.2.5 安定計算結果 (基盤4基連結)

安定計算表

都道府県名	事業名	地区名	工種名	工区名	着工年度			
沖縄県	-----	沖ノ鳥島	増殖礁		令和元年			
設計条件								
潮位	H.H.W.L	0.00 m	沖波	波高 (Ho)	m	設計波	波高 (H)	m
	H.W.L	0.00 m		波長 (Lo)	m	潮流速	周期 (T)	s
	L.W.L	0.00 m		主方向		海面流速 (U _H)	----- m/s	
海底勾配	1/100		推算法		海面設計流速 (U ₀)	----- m/s		
基準設置水深 (h ₀)	7.00 m	基礎地盤の地質		サンゴ砂				
備考	10年対応型の安定計算							
	設計流速 ----- U = 3.000m/s ※指定値							

分割数	方向	D	屈折係数 (Kr)	回折係数 (Kd)	D · (Kr Kd) ²
	-67.5				
Ho/Lo	-45.0				
0.043	-22.5				
Ho'/Ho	0.0				
1.000	22.5				
Ho'	45.0				
2.70	67.5				
				Σ D · (Kr Kd) ²	1.000

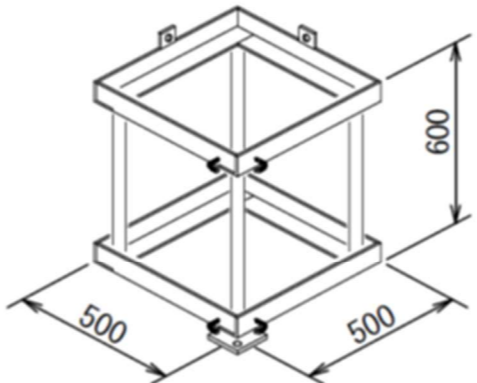
$$h/Lo = 7.00 / 228.40 = 0.031$$

$$Ho'/Lo = 2.70 / 228.40 = 0.012$$

	設置点
h ₀ /Ho'	---
H/Ho' (Ks)	---

設計計算						
使用する機種名および型式			サンゴ増殖用架台 単体型			
諸元	高さ (D)	0.60 m	計算条件	波と流れの条件	波動流速	
	積み重ね高さ (nD)	1段 0.60 m		摩擦係数 (μ)	0.60	
	10年後の重量 (W)	0.304 kN		水粒子速度 (u _m)	m/s	
	10年後の実容積 (V)	0.004 m ³		砕波波動流速 (U _m)	3.000 m/s	
	全遮影面積 (A)	0.24 m ²		流体力	抗力によるもの (P _D)	kN
	抗力係数 (C _D)	1.00			質量力によるもの (P _M)	kN
	質量力係数 (C _M)	2.00			流体力 (P)	1.113 kN
	図心高さ (L _A)	0.38 m		安全率	滑動 (SF1)	0.136 NG
	転倒中心距離 (L _V)	0.25 m			転倒 (SF2)	0.149 NG
	単位体積重量 (σ _G)	77.000 kN/m ³				
備考	1. 流体力 P = C _D × A × ω ₀ × (u _m ² / (2 × g)) = 1 × 0.24 × 10.1 × (3 × 3 / (2 × 9.8)) = 1.113kN					
	2. 滑動安全率 SF1 = (W × μ × (1 - ω ₀ /σ _G) × cosθ - F × μ × sinθ) / (W × (1 - ω ₀ /σ _G) × sinθ + F × cosθ) = (0.304 × 0.6 × (1 - 10.1/77) × 1 - 1.113 × 0.6 × 0.01) / (0.304 × (1 - 10.1/77) × 0.01 + 1.113 × 1) = 0.136					
	3. 転倒安全率 SF2 = (W × (1 - ω ₀ /σ _G) × cosθ - F × sinθ) / (W × (1 - ω ₀ /σ _G) × sinθ + F × cosθ) × (L _V /L _A) = (0.304 × (1 - 10.1/77) × 1 - 1.113 × 0.01) / (0.304 × (1 - 10.1/77) × 0.01 + 1.113 × 1) × (0.25 / 0.38) = 0.149					

注) 計算は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」2015年版による。

姿図			
サンゴ増殖用架台 単体型	種類	当初重量	10年後重量
	本体鋼材	0.431 kN	0.304 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
		0.000 kN	0.000 kN
	合計 (SI単位)	0.431 kN	0.304 kN
	合計 (JIS単位)	0.044 t	0.031 t

3) 図面、材料表

実証試験用基盤の図面並びに材料表を次頁以降に示す。

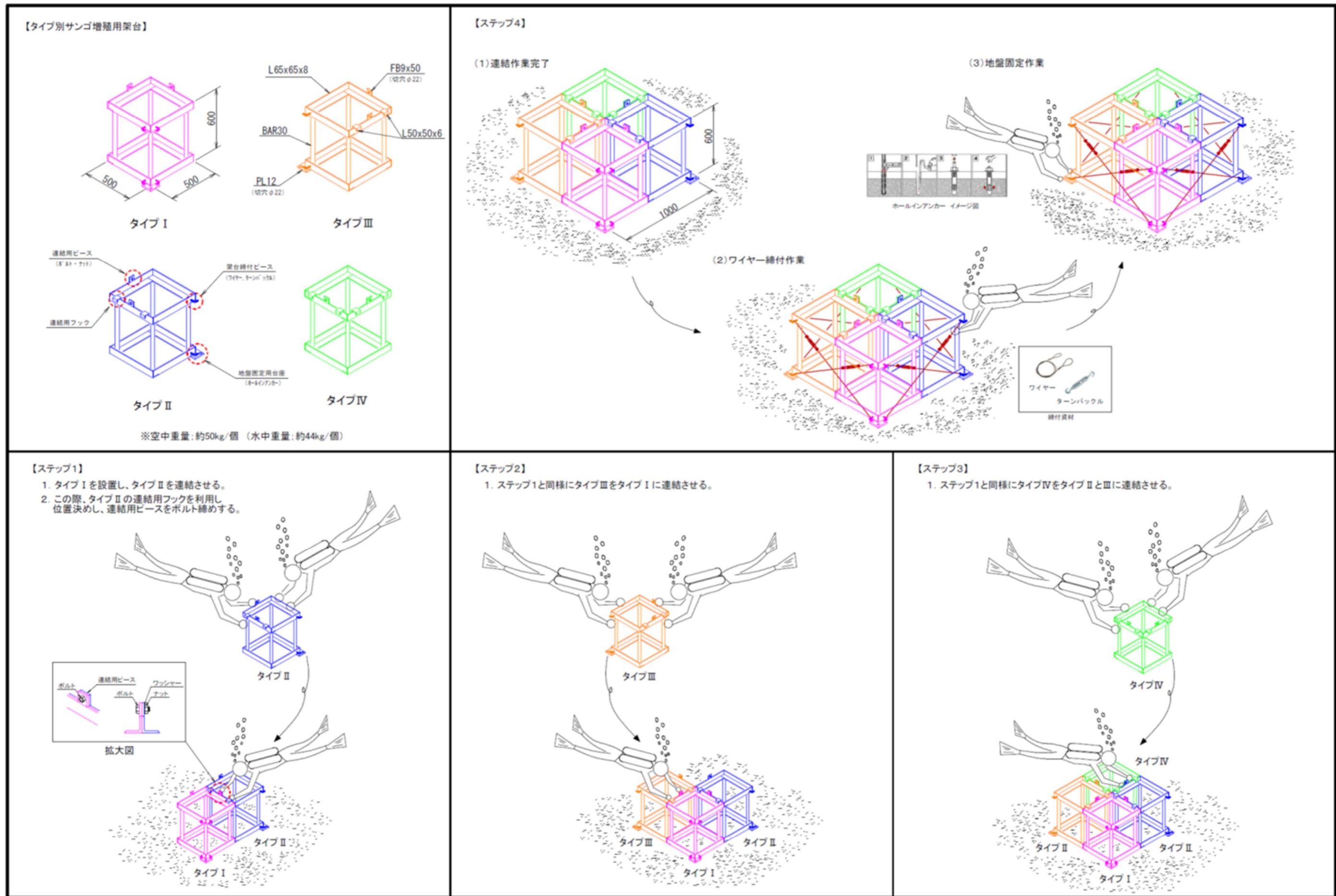
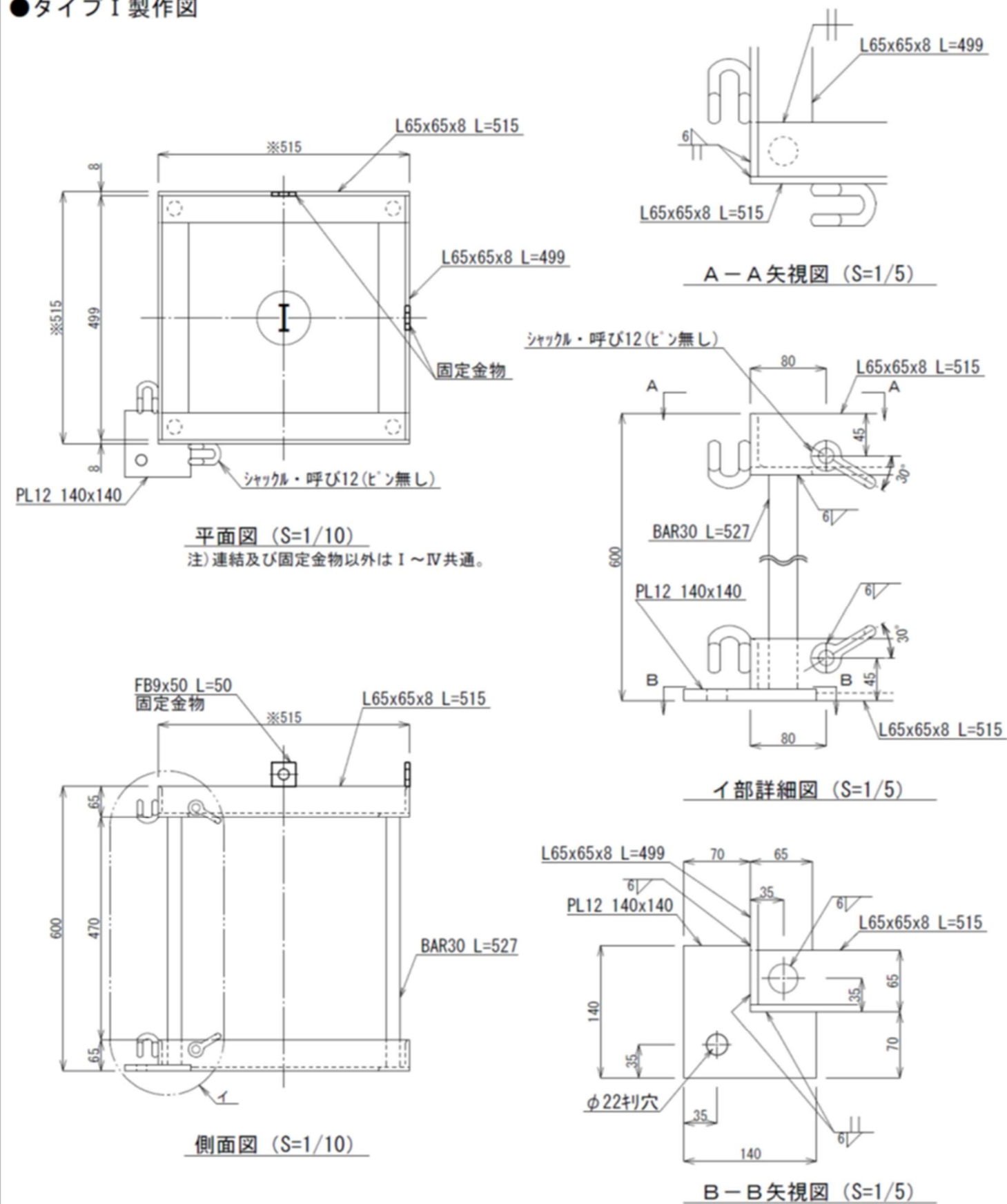


図-IV.2.2.5 基盤設置模式図

●タイプ I 製作図



●連結金物・固定金物取付位置図 注) 図向き通りに取付のこと。

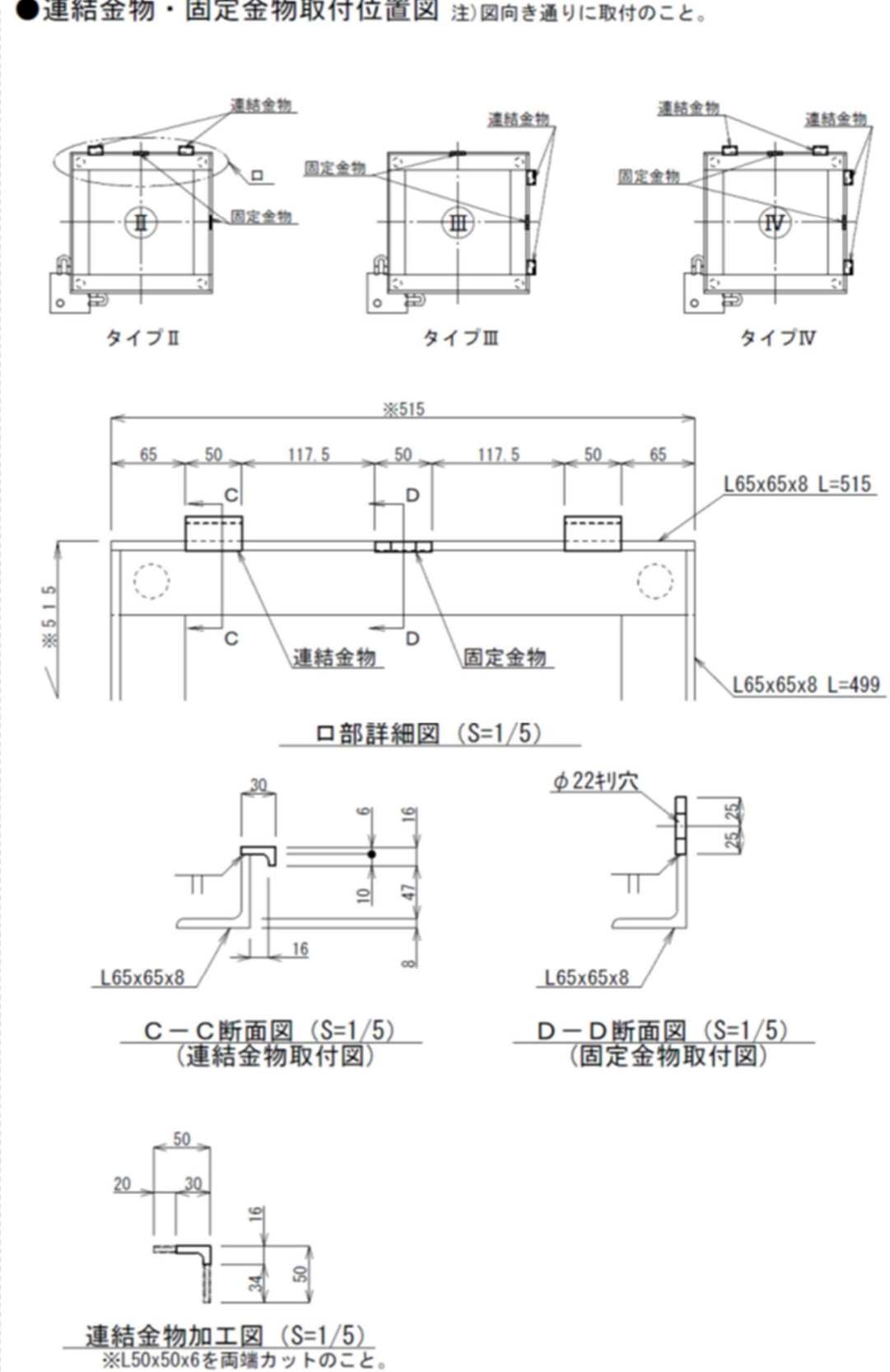


図-IV.2.2.6 基盤製作図

表-IV. 2. 2. 6 材料表

タイプ	品 目	サイズ	長さ・面積		数 量	単重質量		重 量 kg	備 考
I	山形鋼	L-65×65×8	515	mm	4	7.66	kg/m	15.780	
			499	mm	4	7.66	kg/m	15.289	
	丸 鋼	φ30	527	mm	4	5.55	kg/m	11.699	
	平 鋼	FB-9×50	50	mm	2	3.53	kg/m	0.353	穴明け部を含む
	鋼 板	PL-12	0.015	m ²	1	94.2	kg/m ²	1.385	穴明け部を含む
	シャックル	呼び12	—	個	4	0.28	kg	1.120	ピンを含む
計								45.626	
II	山形鋼	L-65×65×8	515	mm	4	7.66	kg/m	15.780	
			499	mm	4	7.66	kg/m	15.289	
	丸 鋼	φ30	527	mm	4	5.55	kg/m	11.699	
	平 鋼	FB-9×50	50	mm	2	3.53	kg/m	0.353	穴明け部を含む
	山形鋼加工	L-30×16×6	0.5	m	2	1.90	kg/m	0.002	
	鋼 板	PL-12	0.015	m ²	1	94.2	kg/m ²	1.385	穴明け部を含む
シャックル	呼び12	—	個	4	0.28	kg	1.120	ピンを含む	
計								45.628	
III	山形鋼	L-65×65×8	515	mm	4	7.66	kg/m	15.780	
			499	mm	4	7.66	kg/m	15.289	
	丸 鋼	φ30	527	mm	4	5.55	kg/m	11.699	
	平 鋼	FB-9×50	50	mm	2	3.53	kg/m	0.353	穴明け部を含む
	山形鋼加工	L-30×16×6	0.5	m	2	1.90	kg/m	0.002	
	鋼 板	PL-12	0.015	m ²	1	94.2	kg/m ²	1.385	穴明け部を含む
シャックル	呼び12	—	個	4	0.28	kg	1.120	ピンを含む	
計								45.628	
IV	山形鋼	L-65×65×8	515	mm	4	7.66	kg/m	15.780	
			499	mm	4	7.66	kg/m	15.289	
	丸 鋼	φ30	527	mm	4	5.55	kg/m	11.699	
	平 鋼	FB-9×50	50	mm	2	3.53	kg/m	0.353	穴明け部を含む
	山形鋼加工	L-30×16×6	0.5	m	4	1.90	kg/m	0.004	
	鋼 板	PL-12	0.015	m ²	1	94.2	kg/m ²	1.385	穴明け部を含む
シャックル	呼び12	—	個	4	0.28	kg	1.120	ピンを含む	
計								45.630	
合 計								182.512	

2.3 実証試験用基盤の製作

製作した実証試験用基盤の状況を以下に示す。なお、製作した基盤は、福岡県若松港より沖ノ鳥島に向かう調査船「風神」に積み込み、沖ノ鳥島へと搬入した。



基盤製作状況



完成した基盤（令和4年4月25日撮影）

2.4 沖ノ鳥島への設置

調査母船である風神より礁内への侵入のため、小型船の風童子へ瀬渡しを行い、前述図-IV.2.2.1に示す箇所に、実証試験用基盤（長さ1m×幅1m×高さ60cm）の仮設置を行った。基盤は連結した状態で配置（図-IV.2.2.7参照）し、脚部をアンカーボルトで海底の岩盤に固定した。

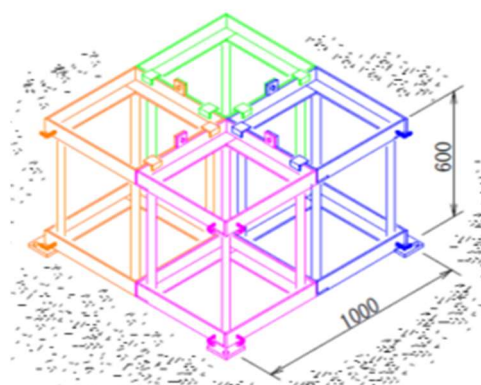


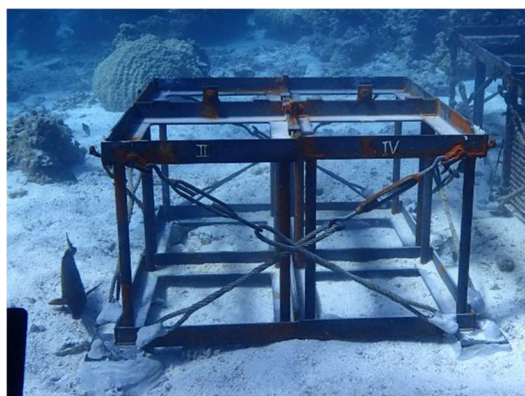
図-IV.2.2.7 基盤設置概念図



調査船風童子への瀬渡しによる積込



礁内への搬入状況



今年度設置した実証試験用基盤



過年度設置した基盤(下)と今年度設置した基盤(上)

なお、令和2年～令和3年に設置した実証試験用基盤は、付着生物の付着等は見られるものの、ボルトのゆるみ、破損、ぐらつき、損傷等は確認されなかった。また、サンゴ砂礫の極端な堆積や洗堀等も確認されなかった。

2.5 実証試験用基盤設置等における課題他

実証試験用基盤設置は、耐用年数が数年であること、容易に設置・撤去が可能であること、を考慮してアンカーボルトを地盤に打ち込み、安定性を確保する工法を採用している。現地での設置は比較的容易に施工が可能であった。また、不陸整正、鋼製基盤の水平設置についても、地盤が比較的平坦であるため、候補地は多数存在、不陸整正もほとんど不要であり、水中ボンドを用いることで容易に対応可能であることを確認した。

また、運搬や水中設置時には4分割にして作業を行うことにより、人力でも十分に施工が可能であることを確認した。

なお、海域によっては地盤が固くアンカーボルトの打設が困難な箇所があるため、今後は、事前に地盤状況等を把握しておくことが望ましい。

また、事業化の際には、多数の構造物を搬入・設置すること、設計年数が30年になることより、アンカーボルトによる施工は耐久性を考慮すると現実的ではないと考えられる。重力式の構造物になることが想定されるが、今回設置した構造物の安定性等の状況確認より、今後の設計へと反映できる事項を把握する必要がある。